

MODELO EXPERIMENTAL DE CIRCULACION
EN UN DEPOSITO DE SEMILLAS:
ESTADO DE AVANCE

I. De Paul, V. Javi, G. Lesino

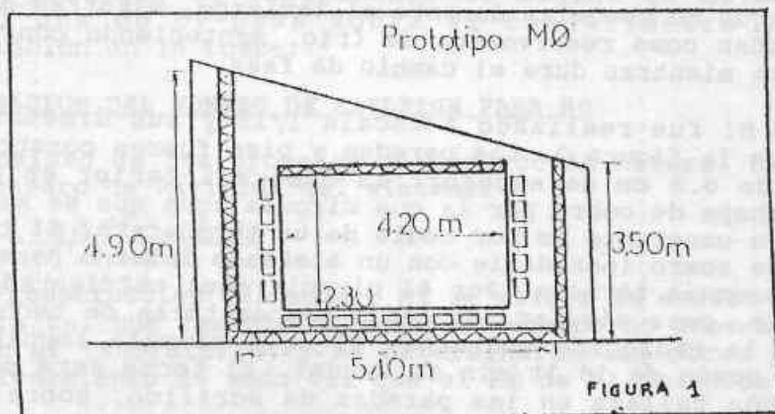
RESUMEN

En trabajos previos (1) se planteó la posibilidad de emplear un modelo a escala de laboratorio para estudiar los procesos convectivos que se espera tener en un depósito destinado a conservar semillas a temperaturas alrededor de -4°C , por medios pasivos, a mediano plazo, en un clima frío y seco como el de la Puna. El techo del depósito se enfría por radiación nocturna; el aire en su contacto se enfría, desciende y establece un ciclo convectivo que mantiene refrigerado el ambiente.

Se construyó un modelo en agua con paredes de acrílico, con techo refrigerado y una cámara isoterma interior que simula la habitación en la que se depositan las semillas que se quiere conservar. Se emplea agua como fluido convectivo, como refrigerante en el techo y para mantener isoterma la cámara interna. Se miden temperaturas de superficie en paredes, techo y piso, y se observa cualitativamente la circulación en el recinto. Se presentan las primeras medidas realizadas y se plantea el trabajo futuro.

INTRODUCCION

El empleo de la radiación nocturna como medio de refrigerar en forma pasiva un recinto destinado a la conservación de semillas a mediano plazo, fue planteada en trabajos previos (2). El prototipo propuesto es un local que aloja un recinto interior destinado a contener las semillas que se quiere conservar, en condiciones controladas de baja humedad y temperatura constante. Figura 1.



El techo del local es una chapa que se enfría durante la noche emitiendo hacia el cielo radiación infrarroja. El aire del local en contacto con el techo se enfría, desciende y establece un ciclo convectivo que mantiene constante la temperatura de la cámara interior por medio de depósitos que rodean el recinto, y contienen una mezcla refrigerante que cambia de fase a -4°C .

A los efectos de estudiar en qué condiciones se establece el ciclo convectivo y dimensionar el prototipo propuesto, se decidió construir un modelo a escala de laboratorio que emplea agua como fluido convectivo.

Se procurará simular situaciones típicas que pueden plantearse en diferentes épocas del año, que se manifiestan en distintas relaciones entre la temperatura ambiente T_a , la temperatura de techo T_t y la temperatura de la cámara isoterma T_o . Por ejemplo, en funcionamiento normal nocturno en invierno, se espera una relación: $T_a < T_t < T_o$. Cada una de estas situaciones representa una condición de aislación diferente del sistema que habrá que tener en cuenta.

Con el fin de lograr mayor brevedad en el texto, se identifica el prototipo propuesto con M0, mientras que al modelo de agua se lo denomina M1.

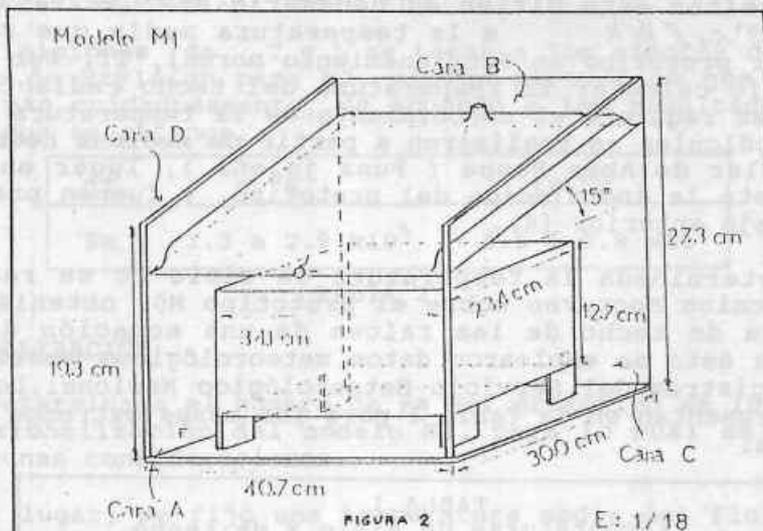
DESCRIPCION DE M0 Y M1

El prototipo M0 se describe en (2), y sus dimensiones se indican en la figura 1. Es un recinto con paredes de adobe, aisladas interiormente con poliestireno expandido y madera, lo mismo que el piso. El techo de chapa de aluminio corrugado, tiene una inclinación de 15° para evacuar el agua de lluvia, escasa en la zona, o de condensación.

La cámara interior está elevada respecto del piso y rodeada de depósitos de plástico que contienen una mezcla de agua y alcohol que cambia de fase a -4°C . El frío es almacenado en estos depósitos que se congelan durante el invierno, mientras que en el verano actúan como reservorios de frío, manteniendo constante la temperatura mientras dura el cambio de fase.

El modelo M1 fue realizado a escala 1/18 y sus dimensiones se muestran en la figura 2. Las paredes y piso fueron construidos en acrílico de 0.8 cm de espesor; la cámara interior es una caja hecha en chapa de cobre por la que circula agua que se mantiene a temperatura constante T_o por medio de un termostato. El techo es una caja de acero inoxidable con un aleteado interno para mejorar la transferencia térmica. Por él circula agua refrigerada en una cámara fría, para simular las bajas temperaturas de techo producidas por la radiación nocturna. El agua circula impulsada por una bomba común de 18 lt/min de caudal. El techo está sostenido por una cuña tallada en las paredes de acrílico, sobre la cual

desliza.



Para medir las temperaturas de superficie se colocaron siete termocuplas en cada una de las caras internas de las paredes y piso de acrílico. Asimismo se colocaron termocuplas en el techo, las caras externas de la caja de cobre, y lado externo de las paredes. Se mide también temperatura ambiente, temperatura del agua que refrigera el techo a la entrada y la salida del mismo y temperatura del termostato. La superficie externa del techo está aislada con lana de vidrio de 1.5 cm de espesor, lo mismo que las cañerías que conducen el agua desde y hacia la cámara fría.

Las temperaturas son registradas por un sistema de adquisición de datos de 60 canales. El caudal de agua que circula por el techo se mide con un caudalímetro Signet 2502 y un contador Acum-u-flow MK 575R de rango máximo 6 lt/min. Para regular el caudal en el techo y proteger el instrumento de medida se colocaron dos llaves, una de by-pass sobre el caudalímetro y otra de recirculación en la bomba.

DETERMINACION DEL NUMERO DE RAYLEIGH PARA M0

La intensidad de los procesos de convección natural está medida por el número de Rayleigh del sistema:

$$Ra = \frac{g \beta \rho^2 C_p L^3 \Delta T}{\mu \cdot k}$$

Para la construcción del modelo M1 se eligió la escala geométrica de manera tal que las dimensiones del equipo no generen dificultades en el laboratorio, y se determinaron los otros parámetros de funcionamiento de modo tal que el Ra de M1 coincida con el Ra de M0.

Para determinar este último es necesario evaluar la constante $K(T) = 9 \beta \beta^4 \cdot c_p / \mu k$ a la temperatura media que se espera tener en el prototipo en funcionamiento normal, T_f . Por lo tanto es necesario calcular la temperatura del techo radiante T_t , lo que a su vez requiere el conocimiento de la temperatura de cielo T_c . Estos cálculos se realizaron a partir de medidas hechas sobre la casa solar de Abra Pampa (Puna jujeña), lugar en el cual está prevista la instalación del prototipo, y fueron presentados en un trabajo anterior (4).

Una vez determinada la temperatura de cielo T_c se realizó un balance térmico nocturno sobre el prototipo M0, obteniéndose la temperatura de techo de las raíces de una ecuación de cuarto grado. Para ésto se emplearon datos meteorológicos medidos en el lugar y registros del Servicio Meteorológico Nacional. Los resultados se presentan en la Tabla 1 para los meses extremos de julio y diciembre.

TABLA 1
Temperaturas de cielo y de techo
calculadas para el prototipo M0 en la Puna

Hora	Diciembre		Julio	
	T_c	T_t	T_c	T_t
21	-9.7	10.0	-30.5	1.8
22	-9.9	10.5	-31.0	1.5
23	-10.1	10.1	-30.9	-1.5
24	-11.3	9.0	-32.5	-2.6
1	-13.1	7.4	-34.5	-4.5
2	-12.9	7.6	-36.6	-5.7
3	-12.6	8.4	-38.0	-7.0
4	-12.4	7.9	-37.8	-8.2
5	-13.3	7.7	-40.8	-8.8
6	-13.2	7.9	-41.4	-9.1
7	-13.3	8.0	-42.3	-9.6

Conocida la temperatura de techo T_t , se define el ΔT que impulsa el flujo convectivo como la diferencia de temperatura entre el techo y la cámara isoterma T_o .

$$\Delta T = T_t - T_o$$

Otro parámetro a definir es la longitud L que actúa en el cálculo del número de Ra , dada la configuración geométrica del sistema. Se define el parámetro L como la mitad de la altura media del sistema:

$$L = (H_{min} + H_{max}) / 4$$

De esta manera se calculó el número de Rayleigh para dos valores

posibles de ΔT : 5 °C y 10 °C, teniendo en cuenta el rango de valores posibles para T_f . Tabla 2.

Estas definiciones de T y L se toman a los efectos de calcular el número de Rayleigh para M_0 , siendo parámetros que se deberá analizar más cuidadosamente, de acuerdo a los resultados experimentales que se obtenga.

ΔT	5 °C	10 °C
Ra	2.3 a 2.9 x10 ⁷	5.6 a 5.8 x10 ⁷

Tabla 2

DIMENSIONALIZACION

Una vez determinado el número de Ra del prototipo se lo empleó en la dimensionalización del modelo M_1 , para lo cual es necesario hacer algunas consideraciones.

En primer lugar, se fijó una temperatura media del fluido T_f del orden de la temperatura ambiente en el laboratorio T_a , alrededor de 25 °C. Por otra parte, teniendo en cuenta que la curva de densidad del agua se invierte a los 4 °C, es necesario que la temperatura del techo no alcance valores por debajo de esta cifra. Se fijó una temperatura de techo alrededor de los 5 °C.

Se define la temperatura media del fluido como el promedio entre la temperatura del techo y la de la cámara interna:

$$T_f = (T_t + T_o) / 2$$

de donde podemos estimar la temperatura a la que hay que mantener la cámara interna:

$$T_o = 2 T_f - T_t$$

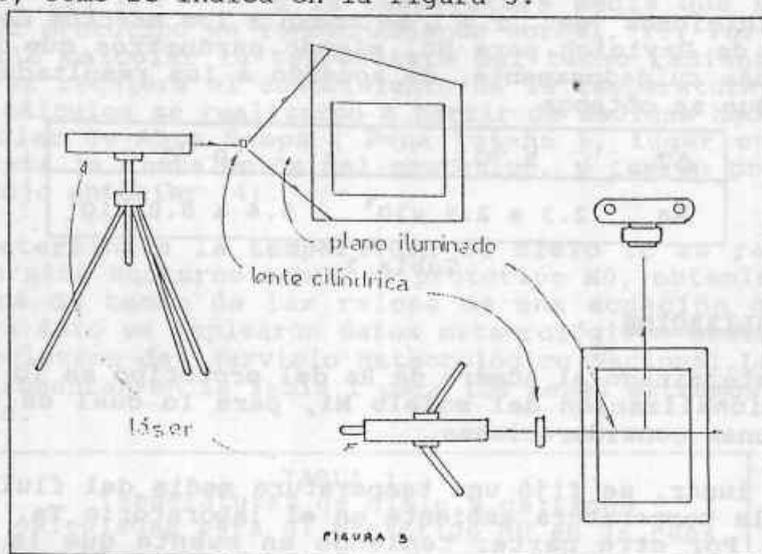
obteniéndose valores entre 30 °C y 55 °C.

VISUALIZACION DEL FLUJO

A los efectos de obtener una información visual directa del movimiento del agua dentro del modelo, se lo llenó con agua desgasada sembrada con polvo de vidrio. Estas partículas son pequeñas esferas huecas de vidrio, de densidad muy próxima a la del agua, que son arrastradas por el fluido sin hundirse ni flotar. Al ser iluminadas por un haz láser, dispersan luz que puede ser observada directamente o registrada en película fotográfica.

Se empleó un láser de 3 mW montado sobre un trípode que permite hacer un barrido vertical en una posición horizontal dada. Con

una lente cilíndrica se generó un plano de iluminación que incide lateralmente sobre M1, permitiendo la observación de las partículas, como se indica en la figura 3.



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos representan una situación típica de funcionamiento nocturno del prototipo durante la época de invierno: $T_a < T_t < T_o$. Se eligieron tres días característicos que ilustran el comportamiento térmico y la dinámica del sistema.

Las primeras medidas corresponden a una secuencia de dos días consecutivos en los que la temperatura de la cámara interna se fijó en 36°C , mientras que la temperatura ambiente oscila entre 26°C y 27°C . Las figuras 4 y 5 muestran la evolución de la temperatura media de las caras identificadas como A, B, C y D. Se observa que en el día 1 el sistema no está en régimen, alcanzándose el estado estacionario recién a partir de la hora 8 del día 2.

Las figuras 6 y 7 muestran la evolución de las temperaturas promedio del piso, fluido y techo. Se observa una distribución espacial de temperaturas que produce desequilibrio en el fluido, favoreciendo el proceso convectivo.

El ΔT es de alrededor de 6°C , lo que produce un valor del número de Rayleigh de 2.7×10^8 , que es un orden de magnitud menor que el rango estimado de funcionamiento para el sistema. Para llevarlo a las condiciones previstas es necesario incrementar el ΔT ; por lo tanto, se debe disminuir la temperatura en la cámara fría y aumentar el caudal que circula por el techo.

Visualmente se observó el movimiento del fluido iluminando desde

la cara B, en planos verticales ubicados a 15 cm de la cara D, y a 2 cm, en el canal frontal entre la cara D y la caja interior. Se observa un suave movimiento convectivo global del fluido, de acuerdo con los valores de temperaturas medidos. El agua asciende por las paredes de la caja interna y por el canal frente a B, desciende a lo largo del techo desde la cara B hacia la cara A, y cierra el circuito por debajo de la caja, desplazándose de A hacia B, como muestra la figura 8. También se observa descenso del fluido en una capa pelicular sobre las caras B y D. En el canal frente a la cara D se observa un movimiento ascendente, muy plano, desde el vértice inferior en A hacia el vértice superior en B.

En el pleno superior se observan celdas convectivas sobre el techo de la cámara interna, que producen una transferencia de energía hacia el techo que no contribuye a establecer el loop convectivo, por lo que es clara la necesidad de aislar el techo de la cámara interna.

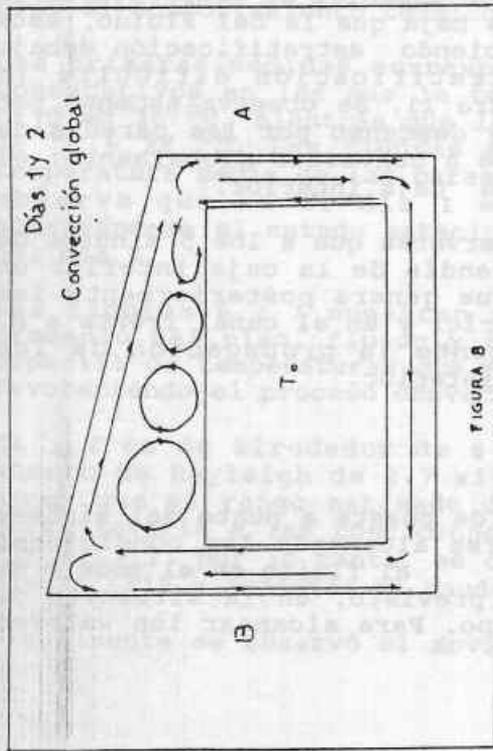
El día 3 corresponde al arranque del sistema, luego de haber permanecido apagado durante un fin de semana. En el estado inicial, la temperatura del fluido era 24 °C, la temperatura ambiente 22.5 °C y la temperatura del agua del termostato 23 °C. Se reguló el termostato a 40 °C y se hicieron medidas cada 15 minutos para registrar el transitorio del sistema. Las medidas muestran que la constante de tiempo es del orden de 5 horas hasta que alcanza el equilibrio. Figuras 9 y 10.

La figura 10 muestra una distribución espacial de temperaturas en la que, si bien la del techo es más baja que la del fluido, ésta es más alta que la del piso, produciendo estratificación debajo de la cámara interna. Esta estratificación dificulta la convección global del sistema. Figura 11. Se observa ascenso por las paredes de la cámara interna y descenso por las paredes de acrílico, sin que el sistema llegue a convectar globalmente: el agua permanece estática debajo de la caja interior.

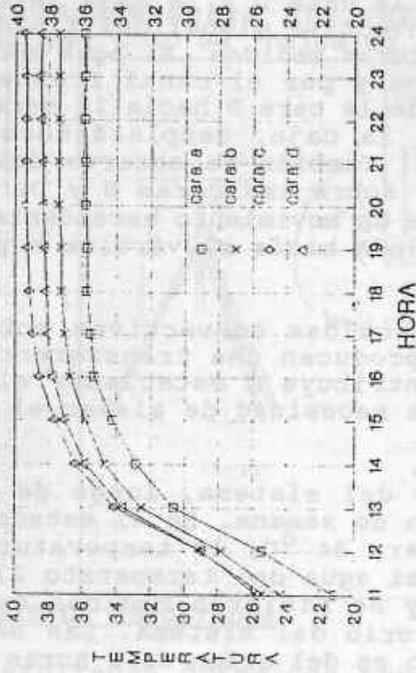
En el arranque del sistema pudo observarse que a los 5 minutos de conectado el termostato, se desprendía de la caja interior un torbellino ascendente que es el que genera posteriormente las celdas convectivas en el pleno superior y en el canal frente a B. También se pudo apreciar claramente la propagación de los vórtices sobre el techo de la caja interior.

CONCLUSIONES

Los resultados de estas mediciones de puesta a punto del sistema mostraron que, a pesar de no haberse alcanzado las condiciones óptimas de funcionamiento, $Ra \approx 10^9$, el fluido en el modelo M1 convecta globalmente, como estaba previsto, en la situación de funcionamiento nocturno, en invierno. Para alcanzar los valores

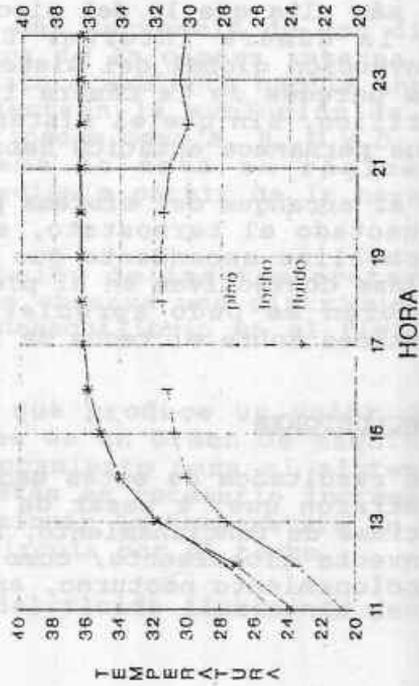


DIA 3
TEMPERATURA PROMEDIO EN LA HORA

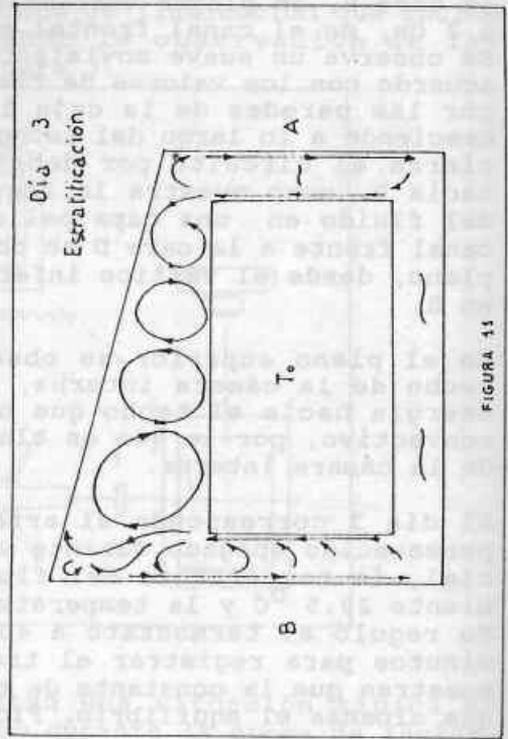


TERMOCUPLAS DE LAS CARAS A, B, C Y D.
FIGURA 9

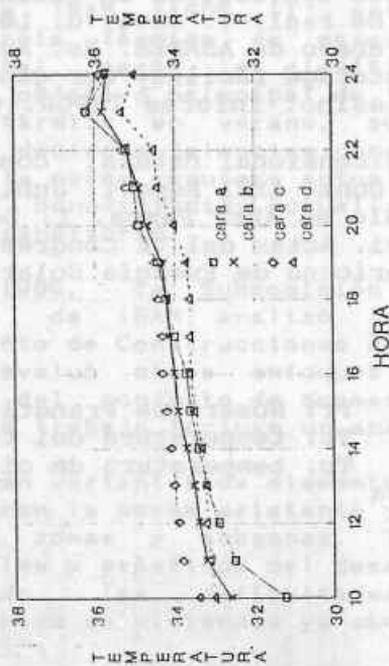
DIA 3
TEMPERATURA PROMEDIO EN LA HORA



PISO, TECHO Y FLUIDO
FIGURA 10

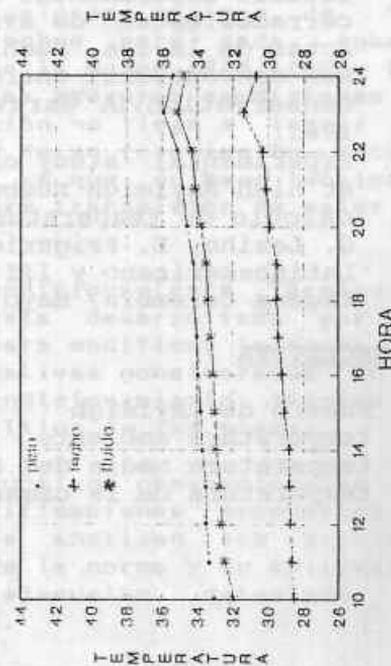


DIA 1
TEMPERATURA PROMEDIO EN LA HORA



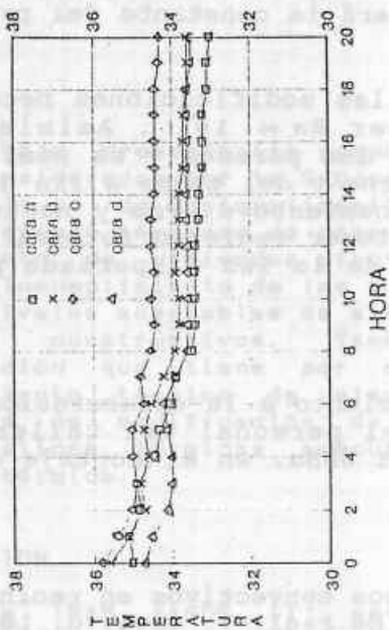
TERMOCUPLAS DE LAS CARAS A, B, C Y D.
FIGURA 4

DIA 1
TEMPERATURA PROMEDIO EN LA HORA



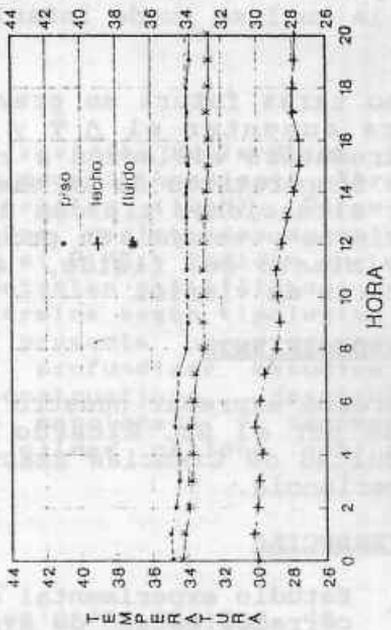
PISO, TECHO Y FLUIDO
FIGURA 4

DIA 2
TEMPERATURA PROMEDIO EN LA HORA



TERMOCUPLAS DE LAS CARAS A, B, C Y D.
FIGURA 5

DIA 2
TEMPERATURA PROMEDIO EN LA HORA



PISO, TECHO Y FLUIDO
FIGURA 5

de Rayleigh adecuados en esta configuración es necesario disminuir la temperatura del agua y aumentar el caudal que circula por el techo.

Se pudo determinar la constante de tiempo del modelo M1, a partir de la cual se puede inferir cuál será la constante del prototipo M0.

Como tarea futura se prevé hacer las modificaciones necesarias para aumentar el ΔT y así tener $Ra \approx 10^9$. Asimismo, se introducirá aislación a escala en las paredes y se modificarán las temperaturas de la cámara interna y del techo a fin de simular situaciones típicas de funcionamiento diurno y nocturno en invierno y verano. Se procurará obtener registro fotográfico del movimiento del fluido, a partir de la luz dispersada por las esferas de vidrio.

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro reconocimiento a la colaboración prestada por el Sr. Ricardo Caso y el personal del taller de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNSa. en el montaje de esta experiencia.

REFERENCIAS

- (1) Estudio experimental de procesos convectivos en recintos cerrados: estado de avance. I. De Paul, V. Javi, G. Lesino. Actas de la 12a. Reunión de Trabajo de ASADES. Bs. As. 1987.
- (2) Non conventional energy seed storage facility for genetic conservation. L. Saravia, G. Lesino. Informe IBPGR. Octubre 1983.
- (3) Experimental study of three dimensional natural convection at high Rayleigh number. Mark Bohm. SERI Report. Junio 1984.
- (4) Cálculo de temperatura de cielo en Abra Pampa. I. De Paul, G. Lesino, E. Frigerio, V. Javi. Actas del VI Congreso Latinoamericano y III Iberoamericano de Energía Solar. Cartagena Colombia. Mayo de 1989.

NOMENCLATURA

Ra: Número de Rayleigh	Pr: Número de Prandtl
Ta: temperatura ambiente	Tt: temperatura del techo
Tf: temperatura media del fluido	Tc: temperatura de cielo
To: temperatura de la cámara interna	